

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①1 N° de publication : **3 143 670**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **22 13819**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **F 02 C 7/262 (2023.01), F 01 D 19/00**

⑫

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤4 Commande automatisée des turbomachines d'un aéronef à voilure tournante lors d'une panne sur une turbomachine.

②2 Date de dépôt : 19.12.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

④5 Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 13.12.24 Bulletin 24/50.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *SAFRAN HELICOPTER ENGINES  
Société par actions simplifiée à associé unique — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : COURTIE Philippe, Roger et RUPERT  
Pascal, Jean.

⑦3 Titulaire(s) : *SAFRAN HELICOPTER ENGINES  
Société par actions simplifiée à associé unique.*

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

**FR 3 143 670 - B1**



## **Description**

### **Titre de l'invention : Commande automatisée des turbomachines d'un aéronef à voilure tournante lors d'une panne sur une turbomachine**

#### **Domaine technique**

[0001] La présente invention se rapporte au domaine général des aéronefs comprenant au moins deux turbomachines, et plus particulièrement à une gestion de commande des turbomachines en cas de détection d'une panne sur une des turbomachines.

#### **Technique antérieure**

[0002] En général, sur un aéronef bimoteur ou bien à plus de deux turbomachines, lorsqu'une panne apparaît sur une des turbomachines, le pilote est obligé d'engager une procédure manuelle. Cette procédure manuelle consiste à mettre au ralenti ou à arrêter le moteur présentant une panne pouvant l'endommager.

[0003] Cette procédure présente l'inconvénient d'augmenter la charge du pilote et de générer des erreurs conduisant à l'arrêt du moteur sain.

[0004] Ce type de procédure est décrit dans les manuels d'installation des moteurs installés sur des applications hélicoptères multi-moteurs par exemple. La procédure pourrait se résumer ainsi : « en cas de panne pouvant endommager le moteur (basse pression d'huile, limaille, niveau huile bas, colmatage filtre), il est recommandé de mettre le moteur immédiatement au ralenti ou de l'arrêter ».

#### **Exposé de l'invention**

[0005] A cet effet, la présente invention vise à améliorer la sécurité des vols en réduisant la charge pilote et notamment en évitant le recours à des sélecteurs, sources d'erreurs potentielles du pilote.

[0006] Dans un objet de l'invention, il est proposé un procédé de commande automatisée des turbomachines d'un aéronef à voilure tournante doté d'une pluralité de turbomachines lors d'une panne sur une turbomachine, le procédé étant destiné à être mis en œuvre par une unité électronique de commande configurée pour recevoir une consigne de régime de rotation de la voilure tournante.

[0007] Selon une caractéristique technique de l'invention, à la suite d'une détection d'une panne sur une première turbomachine parmi les turbomachines de l'aéronef à voilure tournante, le procédé de commande automatisée comprend :

- une détermination de la phase de vol dans laquelle se trouve l'aéronef, puis, lorsque l'aéronef est dans une autre phase qu'une phase de décollage,
- une activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné via une commande d'une baisse progressive de la puissance de ladite première tur-

bomachine et une commande d'une augmentation progressive de la puissance d'au moins une seconde turbomachine de l'aéronef, la baisse progressive de puissance de la première turbomachine et l'augmentation progressive de puissance de ladite au moins une seconde turbomachine étant commandée de manière complémentaire pour maintenir le régime de rotation de la voilure tournante à la consigne de régime de rotation de la voilure tournante,

- une activation d'un indicateur, pour le pilote, d'une anomalie moteur relative à la panne détectée, invitant le pilote à l'utilisation d'un pilotage prudent, et

- un armement d'un limiteur de puissance configuré pour limiter la puissance des turbomachines de l'aéronef à un premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH) correspondant à une puissance maximale utilisable par une turbomachine pendant une première durée limitée.

[0008] La consigne de régime de voilure tournante correspond à la vitesse de rotation de la voilure tournante souhaitée et provient généralement de l'avionique qui la transmet au système de contrôle, c'est-à-dire l'unité électronique de commande.

[0009] L'invention permet ainsi une gestion totalement automatique de cas de pannes moteur, réduisant la charge pilote et limitant les risques d'erreurs et conciliant à la fois disponibilité de puissance, réduction de sollicitation du moteur en panne et limitation d'incursion dans des régimes de puissance d'urgence des moteurs sains. Lors d'un fonctionnement avec une turbomachine en panne, on qualifie les régimes de puissance d'urgence (OEIH, OEIL, OEIC) c'est-à-dire les régimes au-delà d'un certain seuil, par régimes OEI pour « One Engine Inoperative » en anglais. Plus en détails, il existe le régime OEIH pour un régime haut ou « high » en anglais, le régime OEIL pour un régime bas ou « low » en anglais, et le régime OEIC pour un régime continu. Par exemple, le régime OEIH peut être un régime accessible pendant 30 secondes alors que le régime OEIL est un régime accessible pendant 2 minutes, et que le régime OEIC est accessible en continu, le régime OEIH étant plus élevé que le régime OEIL lui-même étant plus élevé que le régime OEIC.

[0010] En effet, le procédé selon l'invention améliore la sécurité des vols lors d'une panne d'une turbomachine grâce à une gestion automatique de la réduction de puissance sur le moteur en panne, afin de réduire son endommagement tout en privilégiant la disponibilité de puissance, et en limitant les incursions dans les régimes OEI des autres moteurs, afin d'éviter des opérations de maintenance lourdes.

[0011] Le procédé mis en œuvre par un système automatisé permet de diminuer la charge pilote et les risques de mauvaise décision (arrêt du moteur sain notamment), tout en conservant « l'esprit » des préconisations usuelles (habitudes pilotes). Ce système automatisé s'active lorsque des pannes pouvant conduire à un endommagement du moteur sont détectées et portées à la connaissance du système. Typiquement il s'agit de

pannes sur le circuit huile. Le système gère alors automatiquement la réduction de puissance sur le moteur en panne afin de limiter l'endommagement et compense automatiquement par les autres moteurs.

- [0012] Le procédé de l'invention a pour principe de base de remplacer la gestion par le pilote d'une situation de pannes moteur par une gestion totalement automatisée par une unité de commande électronique de contrôle et de surveillance du moteur. Ceci concerne notamment les cas de pannes sur le système huile et offre une gestion automatique assurant à la fois la disponibilité de puissance, une sollicitation réduite du moteur en panne et la limitation d'incursion en régime OEI des autres moteurs. Ainsi, l'invention proposée vise à réduire la charge pilote mais en conservant les grands principes de la gestion initialement faite lorsque ces fonctions étaient réalisées manuellement par les pilotes.
- [0013] Dans un premier mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, une phase de décollage est détectée lorsque la puissance délivrée par au moins une turbomachine est supérieure à un seuil de puissance maximale continue.
- [0014] Dans un deuxième mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, le procédé peut comprendre en outre, avant l'activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné, une vérification de l'état de fonctionnement de toutes les turbomachines, le mode désaligné étant maintenu inactif si une panne impactant le fonctionnement nominal d'au moins une turbomachine est également détectée sur au moins une des turbomachines.
- [0015] Lors d'un fonctionnement nominal d'une turbomachine, la sécurité de la turbomachine est assurée, et il n'existe aucun risque que son intégrité soit touchée.
- [0016] Par l'expression une panne impactant le fonctionnement nominal, on entend une panne ne permettant pas d'assurer un fonctionnement d'une turbomachine de l'aéronef en toute sécurité pour la turbomachine. Une panne impactant le fonctionnement nominal d'une turbomachine peut être une panne de capteurs ou d'actionneurs par exemple.
- [0017] Dans un troisième mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, la baisse progressive de la puissance de ladite première turbomachine et l'augmentation progressive de la puissance d'au moins une seconde turbomachine de l'aéronef sont réalisées jusqu'à ce que la puissance de la première turbomachine atteigne une limite basse de puissance, la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine restant inférieure à un second seuil de puissance maximale disponible (OEIL), ou bien jusqu'à ce que la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine atteigne le second seuil de puissance maximale disponible (OEIL), la puissance de ladite première turbomachine ayant une valeur supérieure à ladite limite de puissance basse de la première turbomachine.

- [0018] Dans un quatrième mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, si, suite à l'activation de fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné, un pilote émet une requête d'augmentation de puissance, le procédé comprend une commande d'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine jusqu'à, au maximum, un deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), et, si l'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine est insuffisante pour que les turbomachines développent au total la puissance requise par le pilote, une commande d'augmentation de la puissance de ladite première turbomachine jusqu'à, au maximum, le deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), l'augmentation de puissance sur ladite au moins une seconde turbomachine et, si besoin, sur ladite première turbomachine étant réalisée pendant une durée limitée.
- [0019] Néanmoins si la consigne de vitesse de la voilure tournante ne peut pas être ainsi atteinte, l'augmentation de puissance sur les turbomachines reste possible jusqu'au premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH).
- [0020] Dans un cinquième mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, le pilote commande un armement d'un limiteur de puissance pour limiter la puissance des turbomachines de l'aéronef à un deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL) correspondant à une puissance maximale utilisable par une turbomachine pendant une seconde durée limitée supérieure à la première durée limitée, le deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL) étant inférieur au premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH).
- [0021] Dans un sixième mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, si, suite à l'activation de fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné, un pilote émet une requête d'augmentation de puissance, le procédé comprend une commande d'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine jusqu'à, au maximum, un troisième seuil de puissance maximale disponible (OEIC) inférieur au deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), et, si l'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine est insuffisante pour que les turbomachines développent au total la puissance requise par le pilote, une commande d'augmentation de la puissance de ladite première turbomachine jusqu'à, au maximum, le troisième seuil de puissance maximale disponible (OEIC), l'augmentation de puissance sur ladite au moins une seconde turbomachine et, si besoin, sur ladite première turbomachine pouvant être réalisée pendant une durée illimitée.
- [0022] Néanmoins si la consigne de vitesse de la voilure tournante ne peut pas être ainsi atteinte, l'augmentation de puissance sur les turbomachines reste possible jusqu'au second seuil de puissance maximale disponible (OEIL).
- [0023] Selon un autre objet de l'invention, il est proposé une unité de commande électronique pour un aéronef à voilure tournante doté d'une pluralité de turbomachines,

l'unité de commande électronique étant configurée pour recevoir une consigne de régime de rotation de la voilure tournante et commander de manière automatisée les turbomachines de l'aéronef lors d'une panne sur une turbomachine, l'unité de commande électronique comprenant :

- un module d'entrée configuré pour recevoir des signaux de détection d'une panne sur une première turbomachine parmi les turbomachines de l'aéronef à voilure tournante,
- un moyen de détermination de la phase de vol dans laquelle se trouve l'aéronef,
- un moyen d'activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné configuré pour délivrer, lorsque l'aéronef est dans une autre phase qu'une phase de décollage, une commande d'une baisse progressive de la puissance de ladite première turbomachine et une commande d'une augmentation progressive de la puissance d'au moins une seconde turbomachine de l'aéronef, la baisse progressive de puissance de la première turbomachine et l'augmentation progressive de puissance de ladite au moins une seconde turbomachine étant commandée de manière complémentaire pour maintenir le régime de rotation de la voilure tournante au régime de rotation à la consigne de régime de rotation de la voilure tournante, et
- un moyen d'activation d'un indicateur d'une anomalie moteur pour le pilote l'invitant à l'utilisation d'un pilotage prudent, et
- un moyen d'armement d'un limiteur de puissance configuré pour limiter la puissance des turbomachines de l'aéronef au moins à un premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH) correspondant à une puissance maximale utilisable par une turbomachine pendant une première durée limitée.

[0024] La consigne de régime de voilure tournante correspond à la vitesse de rotation de la voilure tournante souhaitée et provient généralement de l'avionique qui la transmet au système de contrôle, c'est-à-dire l'unité électronique de commande.

[0025] Selon un autre objet de l'invention, il est proposé un aéronef à voilure tournante comprenant au moins deux turbomachines et une unité de commande électronique.

### **Brève description des dessins**

[0026] [Fig.1] La [Fig.1] illustre un procédé de commande automatisée des turbomachines d'un aéronef à voilure tournante lors d'une panne sur une turbomachine selon un mode de mise en œuvre.

[0027] [Fig.2] La [Fig.2] illustre un procédé de commande automatisée des turbomachines d'un aéronef à voilure tournante lors d'une panne sur une turbomachine selon un deuxième mode de mise en œuvre.

[0028] [Fig.3] La [Fig.3] illustre un procédé de commande automatisée des turbomachines d'un aéronef à voilure tournante lors d'une panne sur une turbomachine selon un troisième mode de mise en œuvre de l'invention.

- [0029] [Fig.4] La [Fig.4] présente de manière schématique une unité de commande électronique selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0030] [Fig.5] La [Fig.5] représente graphiquement l'évolution des régimes des deux turbomachines d'un aéronef lorsque le procédé de la [Fig.1] est mis en œuvre.
- [0031] [Fig.6] La [Fig.6] représente graphiquement l'évolution des régimes des deux turbomachines d'un aéronef lorsque le procédé de la [Fig.1] est mis en œuvre alors que l'aéronef est en phase de décollage lorsqu'une panne est détectée.
- [0032] [Fig.7] La [Fig.7] représente graphiquement l'évolution des régimes des deux turbomachines d'un aéronef lorsque le procédé de la [Fig.2] est mis en œuvre.

### **Description des modes de réalisation**

- [0033] Sur la [Fig.1] est illustré un ordinogramme d'un procédé de commande automatisée des turbomachines d'un aéronef à voilure tournante lors d'une panne sur une turbomachine selon un mode de mise en œuvre de l'invention, le procédé étant destiné à être mis en œuvre par une unité électronique de commande.
- [0034] L'aéronef comportant une unité de commande électronique mettant en œuvre un tel procédé est un aéronef à voilure tournante, tel qu'un hélicoptère, comprenant au moins deux turbomachines pour le fonctionnement de la voilure tournante.
- [0035] Dans les exemples illustrés sur les figures 1 à 7, on se place dans une configuration avec seulement deux turbomachines. Mais l'invention s'applique également s'il y a plus d'une seconde turbomachine, la première turbomachine étant la turbomachine en panne.
- [0036] Le procédé de commande automatisé selon l'invention est mis en œuvre à la suite d'une détection d'une panne sur une première turbomachine de l'aéronef. La panne peut correspondre, par exemple, à un défaut de pression d'huile ou une température d'huile trop élevée, ou d'autres pannes du même niveau d'importance, autrement dit des pannes n'impliquant pas un arrêt du fonctionnement de la turbomachine, mais nécessitant cependant un fonctionnement de la turbomachine dans un mode dégradé pour préserver son intégrité. Ces pannes peuvent effectivement générer un endommagement de la turbomachine si un fonctionnement de la turbomachine est maintenu dans des conditions de fonctionnement trop contraignantes.
- [0037] Suite à la détection d'un défaut de pression d'huile par exemple, le procédé de commande automatisée selon l'invention illustré sur la [Fig.1] comprend tout d'abord, dans une première étape 100, une vérification de l'état de fonctionnement de toutes les turbomachines de l'aéronef. Si une panne impactant le fonctionnement nominal est détectée sur au moins une des turbomachines, le procédé selon l'invention est avorté, sinon on passe à l'étape suivante 102.
- [0038] Puis dans une étape suivante 102, le procédé comprend une détermination de la phase

de vol dans laquelle se trouve l'aéronef.

[0039] Si une phase de décollage est détectée à la première étape 102, notamment par une détection d'une puissance délivrée par au moins une turbomachine supérieure à un seuil de puissance maximale continue, les étapes suivantes du procédé ne sont pas mises en œuvre. Cela jusqu'à la sortie de la phase de décollage, comme indiqué à l'étape 104, et comme cela est illustré sur la [Fig.6] qui sera décrite plus loin.

[0040] Lorsque l'aéronef est dans une autre phase qu'une phase de décollage, le procédé selon l'invention réalise, dans une étape 110, une activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné, et, dans le même temps, dans une étape 120, une activation d'un indicateur, pour le pilote, de l'activation du mode désaligné, invitant le pilote à l'utilisation d'un pilotage prudent.

[0041] Comme cela est illustré sur la [Fig.5] qui représente graphiquement l'évolution des régimes des deux turbomachines d'un aéronef lorsque le procédé de la [Fig.1] est mis en œuvre, une temporisation est utilisée entre la détection du défaut de pression d'huile et l'activation du mode désaligné à l'étape 110. Cette temporisation est utilisée afin de s'assurer que l'aéronef ne se trouve pas dans une phase de décollage bien que le régime de puissance des turbomachines soit inférieur au régime de puissance maximum continu (PMC), qui représente le seuil bas de la plage de puissance maximale de décollage (PMD)

[0042] Sur la [Fig.6] est représentée graphiquement l'évolution des régimes des deux turbomachines d'un aéronef lorsque le procédé de la [Fig.1] est mis en œuvre alors que l'aéronef est en phase de décollage lorsqu'une panne est détectée. Sur cette [Fig.6], la panne est détectée alors que le régime de puissance des turbomachines est dans la plage PMD. Le procédé de la [Fig.1] n'est pas activé comme indiqué à l'étape 104. Il faut attendre que le pilote commande une diminution du régime de puissance des turbomachines sous une valeur seuil pour que la temporisation soit lancée et que le mode désaligné soit activé automatiquement à l'issue de la temporisation si le régime est toujours inférieur à ce seuil.

[0043] Le seuil en question correspond à un régime de puissance des turbomachines strictement inférieur à la limite associée au niveau de puissance maximum continu (PMC) de l'aéronef. Par sécurité, on prend une marge de quelques pourcents inférieur au niveau PMC pour fixer ce seuil.

[0044] Comme cela est illustré sur les figures 5 et 6, et sur la [Fig.1], l'étape 110 d'activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné comprend, dans une étape 112, une commande d'une baisse progressive de la puissance de la première turbomachine, Moteur 1, et, dans une étape 114 simultanée à l'étape 112, une commande d'une augmentation progressive de la puissance de la seconde turbomachine, Moteur 2.

- [0045] Dans le même temps, dans une étape 130 à la suite de l'étape 110, l'unité électronique de commande réalise un armement d'un limiteur de puissance configuré pour limiter la puissance des turbomachines (Moteur 1 et Moteur 2) de l'aéronef à un premier seuil de puissance maximale disponible, dit seuil de puissance maximale haut (OEIH) et correspondant à une puissance maximale utilisable par une turbomachine pendant une première durée limitée.
- [0046] La baisse progressive de puissance de la première turbomachine et l'augmentation progressive de puissance de la seconde turbomachine sont commandées de manière complémentaire pour maintenir le régime de rotation de la voilure tournante au régime de rotation à une consigne de régime de rotation de la voilure tournante.
- [0047] Comme indiqué à l'étape 116 sur la [Fig.1], la baisse progressive de la puissance de la première turbomachine et l'augmentation progressive de la puissance de la seconde turbomachine sont réalisées :
- soit jusqu'à ce que la puissance de la première turbomachine (notée P1 sur la [Fig.1]) atteigne une limite basse de puissance de la première turbomachine (notée Lim sur la [Fig.1] et limite basse sur les figures 5 et 6), la puissance de la seconde turbomachine restant inférieure à un second seuil de puissance maximale disponible (OEIL),
  - soit jusqu'à ce que la puissance de la seconde turbomachine (notée P2 sur la [Fig.1]) atteigne le second seuil de puissance maximale disponible (noté OEIL sur la [Fig.1]), la puissance de la première turbomachine ayant alors une valeur supérieure à la limite de puissance basse de la première turbomachine.
- [0048] Sur la [Fig.2] il est illustré un procédé selon un deuxième mode de mise en œuvre de l'invention. Et sur la [Fig.7] est représentée graphiquement l'évolution des régimes des deux turbomachines d'un aéronef lorsque le procédé de la [Fig.2] est mis en œuvre.
- [0049] Comme illustré sur la [Fig.2], si, suite à l'activation de fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné, un pilote émet, dans une étape 140 (notée A sur la [Fig.7]), une requête d'augmentation de puissance, le procédé comprend en outre, dans une étape 142, une commande d'augmentation de la puissance de la seconde turbomachine (Moteur 2) jusqu'à, au maximum, le deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), comme indiqué dans l'étape 144. Et, si l'augmentation de la puissance de la seconde turbomachine est insuffisante pour que les turbomachines développent au total (noté P sur la [Fig.2]) la puissance requise par le pilote, le procédé comprend en outre une augmentation, dans une étape 146 (notée B sur la [Fig.7]), de la puissance de la première turbomachine (Moteur 1) jusqu'à, au maximum, le deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), comme indiqué à l'étape 148 de la [Fig.2]. Sur la [Fig.7], la puissance totale requise par le pilote développée par les deux moteurs est atteinte à l'étape C. L'augmentation de puissance sur la seconde tur-

bomachine et, si besoin, sur la première turbomachine étant réalisée pendant une durée limitée comme indiqué à l'étape 150.

- [0050] Néanmoins si la consigne de vitesse de la voilure tournante ne peut pas être ainsi atteinte, l'augmentation de puissance sur les turbomachines reste possible jusqu'au premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH).
- [0051] Sur la [Fig.7], le niveau de régime AEO correspond au niveau de fonctionnement classique des deux turbomachines (AEO).
- [0052] Sur la [Fig.3] est illustré un procédé selon un troisième mode de mise en œuvre de l'invention.
- [0053] Comme illustré sur la [Fig.3], le pilote peut commander, dans une étape 160, un armement d'un limiteur de puissance pour limiter la puissance des turbomachines de l'aéronef à un deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL) correspondant à une puissance maximale utilisable par une turbomachine pendant une seconde durée limitée supérieure à la première durée limitée, le deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL) étant inférieur au premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH).
- [0054] Dans un tel cas, si, suite à l'activation de fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné, un pilote émet, dans une étape 240, une requête d'augmentation de puissance, le procédé comprend en outre, dans une étape 242, une commande d'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine jusqu'à, au maximum, un troisième seuil de puissance maximale disponible (OEIC) inférieur au deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), comme indiqué dans l'étape 144. Et, si l'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine est insuffisante pour que les turbomachines développent au total la puissance requise par le pilote, le procédé comprend en outre une augmentation, dans l'étape 246, de la puissance de ladite première turbomachine jusqu'à, au maximum, le troisième seuil de puissance maximale disponible (OEIC), comme indiqué dans l'étape 248.
- [0055] Dans cette configuration, l'augmentation de puissance sur la seconde turbomachine et, si besoin, sur ladite première turbomachine peuvent être réalisées sans limite de temps.
- [0056] Néanmoins si la consigne de vitesse de la voilure tournante ne peut pas être ainsi atteinte, l'augmentation de puissance sur les turbomachines reste possible jusqu'au second seuil de puissance maximale disponible (OEIL).
- [0057] Sur la [Fig.4] est illustrée schématiquement une unité de commande électronique selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0058] L'unité de commande électronique 1 est configurée pour commander de manière automatisée les turbomachines d'un aéronef à voilure tournante pluri moteurs lors d'une

panne sur une turbomachine.

- [0059] L'unité de commande électronique 1 comprend un module d'entrée 2 configuré pour recevoir des signaux de détection d'une panne sur une première turbomachine parmi les turbomachines de l'aéronef à voilure tournante, un moyen 3 de détermination de la phase de vol dans laquelle se trouve l'aéronef, et un moyen 4 d'activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné. Le moyen 4 d'activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné est configuré pour délivrer, lorsque l'aéronef est dans une autre phase qu'une phase de décollage, une commande d'une baisse progressive de la puissance de ladite première turbomachine et une commande d'une augmentation progressive de la puissance d'au moins une seconde turbomachine de l'aéronef. La baisse progressive de puissance de la première turbomachine et l'augmentation progressive de puissance de ladite au moins une seconde turbomachine sont commandées de manière complémentaire pour maintenir le régime de rotation de la voilure tournante au régime de rotation à la consigne de régime de rotation de la voilure tournante.
- [0060] L'unité de commande électronique comprend en outre un moyen 5 d'activation d'un indicateur d'une anomalie moteur pour le pilote l'invitant à l'utilisation d'un pilotage prudent, et un moyen 6 d'armement d'un limiteur de puissance permettant de sélectionner soit le second seuil de puissance maximale disponible (OEIL) soit le troisième seuil de puissance maximale disponible (OEIC) soit de revenir au premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH) préalablement automatiquement sélectionné suite à l'entrée en mode désaligné.
- [0061] Le procédé selon l'invention fournit ainsi une solution technique permettant d'améliorer la sécurité des vols en réduisant la charge pilote et notamment en évitant le recours à des sélecteurs, sources d'erreurs potentielles du pilote.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de commande automatisée des turbomachines d'un aéronef à voilure tournante doté d'une pluralité de turbomachines lors d'une panne sur une turbomachine, le procédé étant destiné à être mis en œuvre par une unité électronique de commande configurée pour recevoir une consigne de régime de rotation de la voilure tournante, caractérisée en ce que, à la suite d'une détection d'une panne sur une première turbomachine parmi les turbomachines de l'aéronef à voilure tournante, le procédé de commande automatisée comprend :
- une détermination (102) de la phase de vol dans laquelle se trouve l'aéronef, puis, lorsque l'aéronef est dans une autre phase qu'une phase de décollage,
  - une activation (110) d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné via une commande (112) d'une baisse progressive de la puissance de ladite première turbomachine et une commande (114) d'une augmentation progressive de la puissance d'au moins une seconde turbomachine de l'aéronef, la baisse progressive de puissance de la première turbomachine et l'augmentation progressive de puissance de ladite au moins une seconde turbomachine étant commandée de manière complémentaire pour maintenir le régime de rotation de la voilure tournante à la consigne de régime de rotation de la voilure tournante,
  - une activation (120) d'un indicateur, pour le pilote, d'une anomalie moteur relative à la panne détectée l'invitant à l'utilisation d'un pilotage prudent, et
  - un armement (130) d'un limiteur de puissance configuré pour limiter la puissance des turbomachines de l'aéronef à un premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH) correspondant à une puissance maximale utilisable par une turbomachine pendant une première durée limitée.
- [Revendication 2] Procédé de commande automatisée selon la revendication 1, dans lequel une phase de décollage est détectée lorsque la puissance délivrée par au moins une turbomachine est supérieure à un seuil de puissance maximale continue.
- [Revendication 3] Procédé de commande automatisée selon l'une des revendications 1 ou 2, comprenant en outre, avant l'activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné, une vérification (100) de l'état de fonctionnement de toutes turbomachines, le mode désaligné étant

maintenu inactif si une panne impactant le fonctionnement nominal d'au moins une turbomachine est détectée.

[Revendication 4] Procédé de commande automatisée selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la baisse progressive de la puissance de ladite première turbomachine et l'augmentation progressive de la puissance d'au moins une seconde turbomachine de l'aéronef sont réalisées jusqu'à ce que la puissance de la première turbomachine atteigne (116) une limite basse de puissance, la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine restant inférieure à un second seuil de puissance maximale disponible (OEIL), ou bien jusqu'à ce que la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine atteigne le second seuil de puissance maximale disponible (OEIL), la puissance de ladite première turbomachine ayant une valeur supérieure à ladite limite de puissance basse de la première turbomachine.

[Revendication 5] Procédé de commande automatisée selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel si, suite à l'activation de fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné, un pilote émet une requête d'augmentation de puissance (140), le procédé comprend une commande (142) d'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine jusqu'à, au maximum, un deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), et, si l'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine est insuffisante pour que les turbomachines développent au total la puissance requise par le pilote, une commande d'augmentation (146) de la puissance de ladite première turbomachine jusqu'à, au maximum, le deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), l'augmentation de puissance sur ladite au moins une seconde turbomachine et, si besoin, sur ladite première turbomachine étant réalisée pendant une durée limitée (150).

[Revendication 6] Procédé de commande automatisée selon l'une des revendications 4 ou 5, dans lequel le pilote commande un armement (160) d'un limiteur de puissance pour limiter la puissance des turbomachines de l'aéronef à un deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL) correspondant à une puissance maximale utilisable par une turbomachine pendant une seconde durée limitée supérieure à la première durée limitée, le deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL) étant inférieur au premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH).

[Revendication 7] Procédé de commande automatisée selon la revendication 6, dans lequel si, suite à l'activation de fonctionnement des turbomachines dans un

mode désaligné, un pilote émet une requête (240) d'augmentation de puissance, le procédé comprend une commande (242) d'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine jusqu' à, au maximum, un troisième seuil de puissance maximale disponible (OEIC) inférieur au deuxième seuil de puissance maximale disponible (OEIL), et, si l'augmentation de la puissance de ladite au moins une seconde turbomachine est insuffisante pour que les turbomachines développent au total la puissance requise par le pilote, une commande (246) d'augmentation de la puissance de ladite première turbomachine jusqu'à, au maximum, le troisième seuil de puissance maximale disponible (OEIC), l'augmentation de puissance sur ladite au moins une seconde turbomachine et, si besoin, sur ladite première turbomachine pouvant être réalisée pendant une durée illimitée.

[Revendication 8]

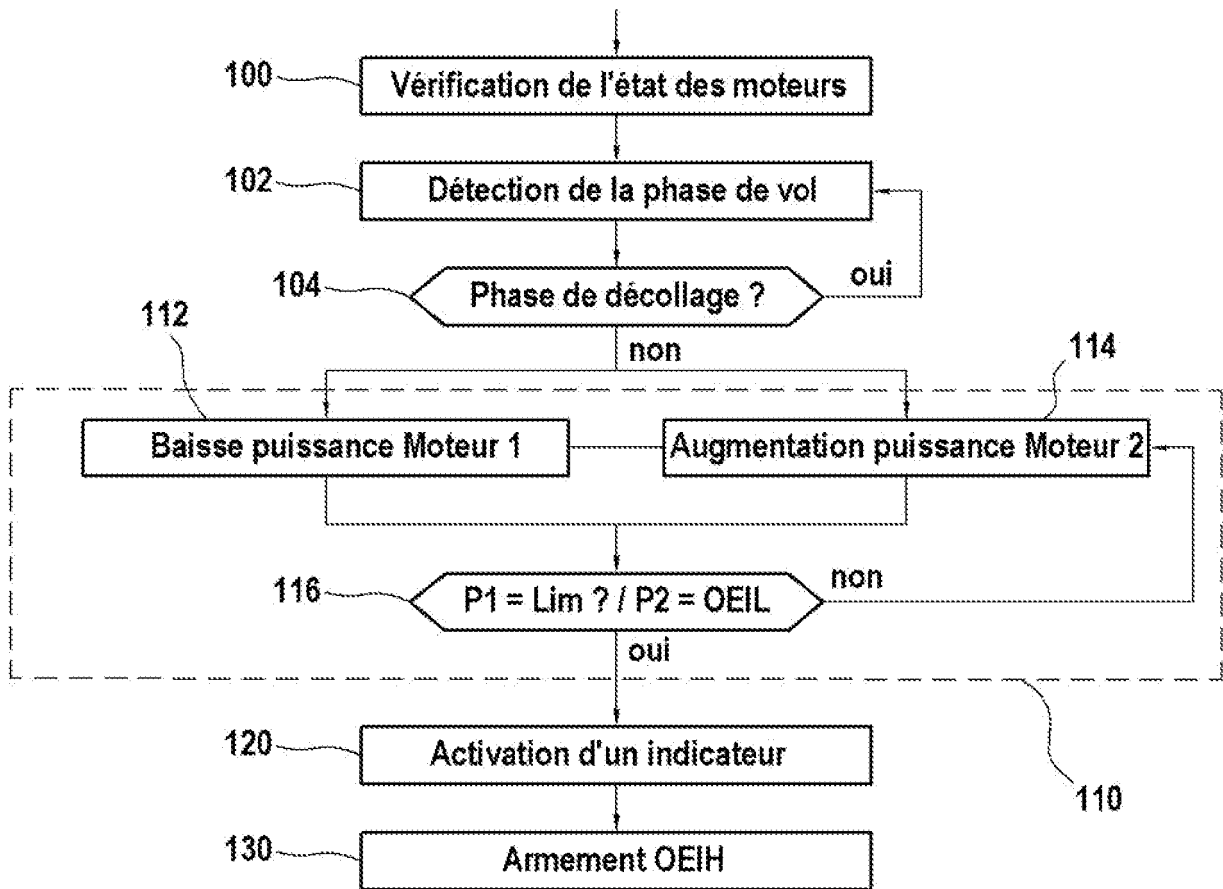
Unité de commande électronique (1) pour un aéronef à voilure tournante doté d'une pluralité de turbomachines, l'unité de commande électronique (1) étant configurée pour recevoir une consigne de régime de rotation de la voilure tournante et commander de manière automatisée les turbomachines de l'aéronef lors d'une panne sur une turbomachine, l'unité de commande électronique (1) comprenant :

- un module (2) d'entrée configuré pour recevoir des signaux de détection d'une panne sur une première turbomachine parmi les turbomachines de l'aéronef à voilure tournante,
- un moyen (3) de détermination de la phase de vol dans laquelle se trouve l'aéronef,
- un moyen (4) d'activation d'un fonctionnement des turbomachines dans un mode désaligné configuré pour délivrer, lorsque l'aéronef est dans une autre phase qu'une phase de décollage, une commande d'une baisse progressive de la puissance de ladite première turbomachine et une commande d'une augmentation progressive de la puissance d'au moins une seconde turbomachine de l'aéronef, la baisse progressive de puissance de la première turbomachine et l'augmentation progressive de puissance de ladite au moins une seconde turbomachine étant commandée de manière complémentaire pour maintenir le régime de rotation de la voilure tournante au régime de rotation à une consigne de régime de rotation de la voilure tournante,
- un moyen (5) d'activation d'un indicateur d'une anomalie moteur pour le pilote l'invitant à l'utilisation d'un pilotage prudent, et
- un moyen (6) d'armement d'un limiteur de puissance configuré pour

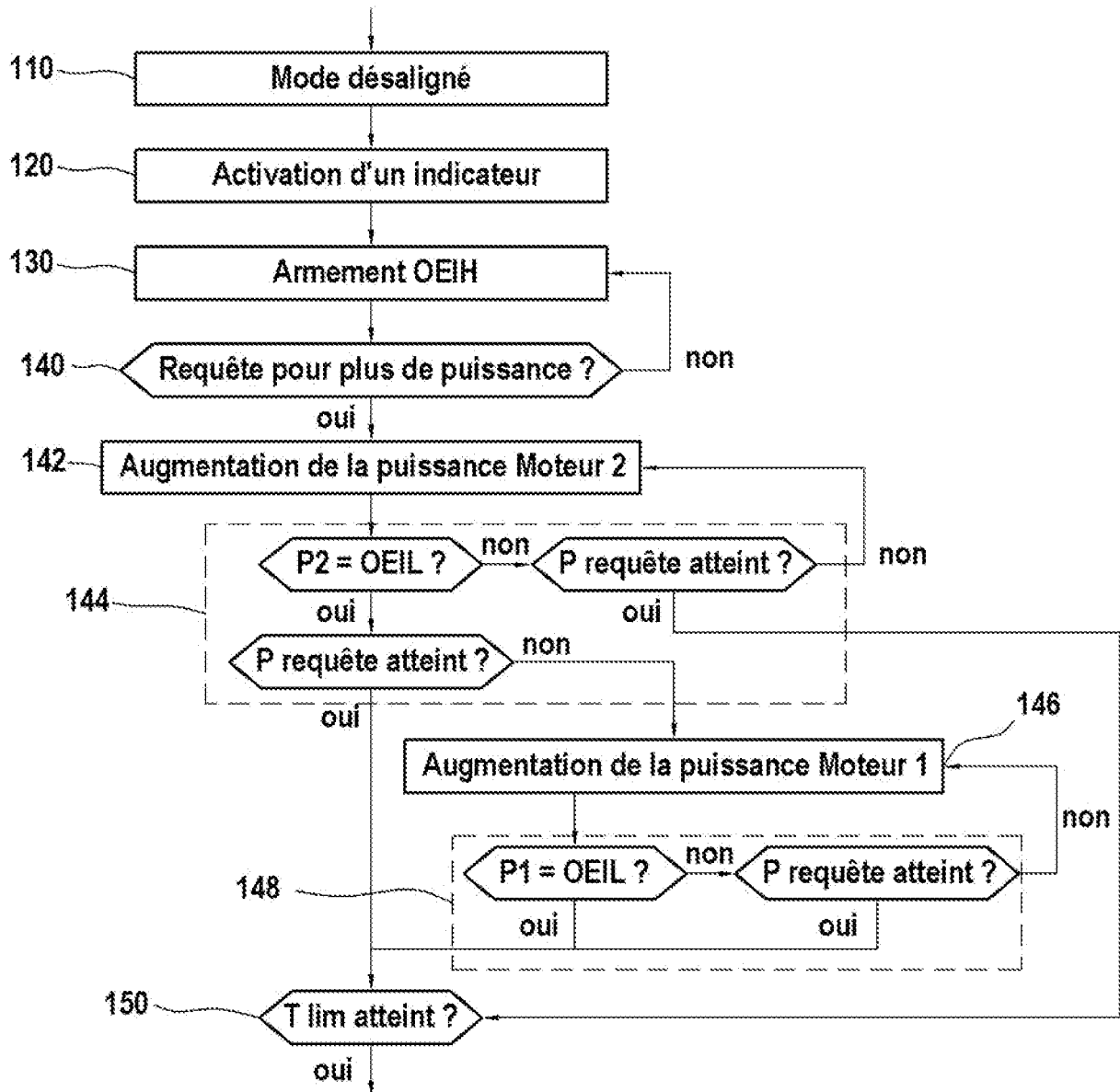
limiter la puissance des turbomachines de l'aéronef à au moins un premier seuil de puissance maximale disponible (OEIH) correspondant à une puissance maximale utilisable par une turbomachine pendant une première durée limitée.

[Revendication 9] Aéronef à voilure tournante comprenant au moins deux turbomachines et une unité de commande électronique selon la revendication 8.

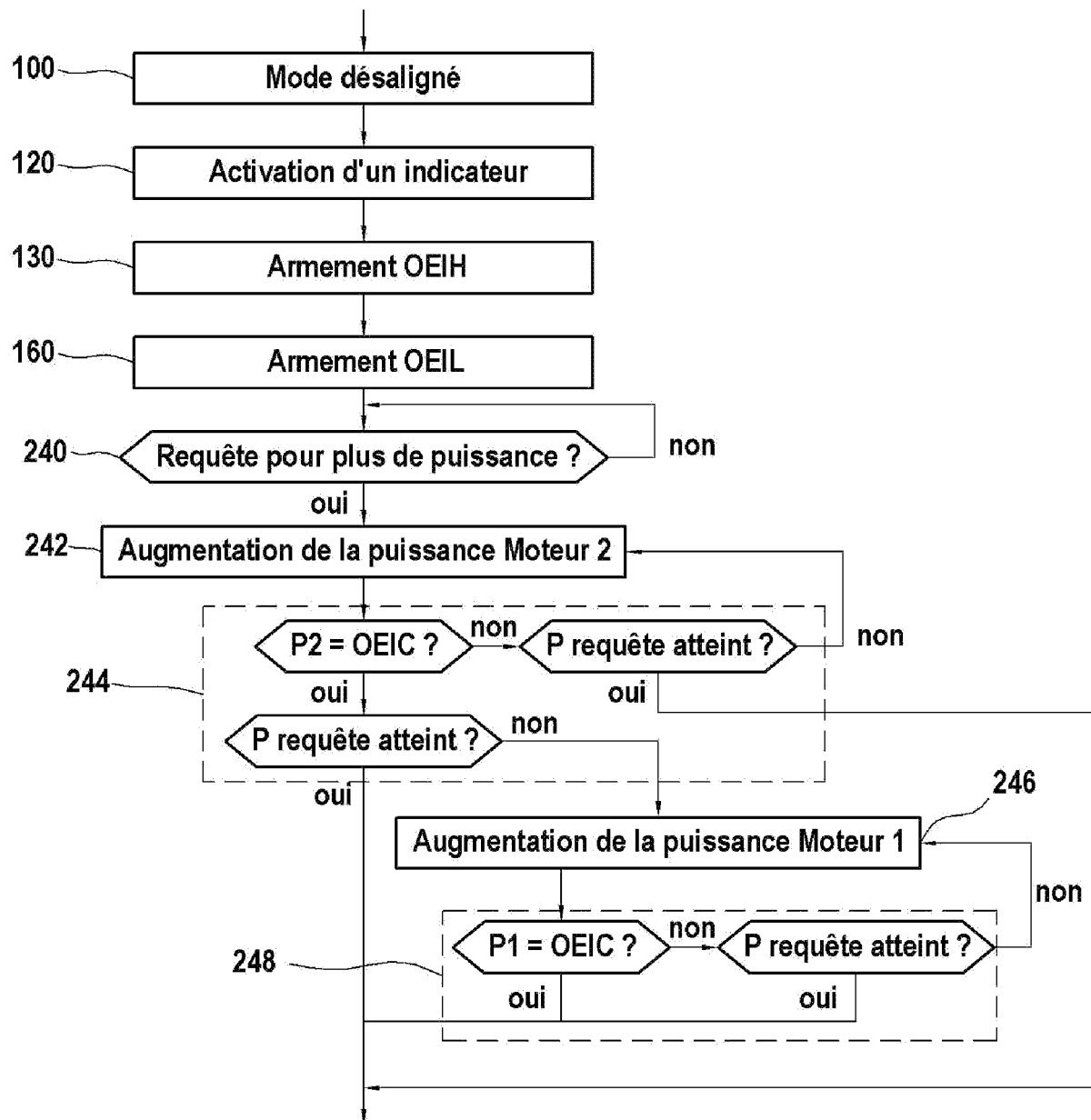
[Fig. 1]



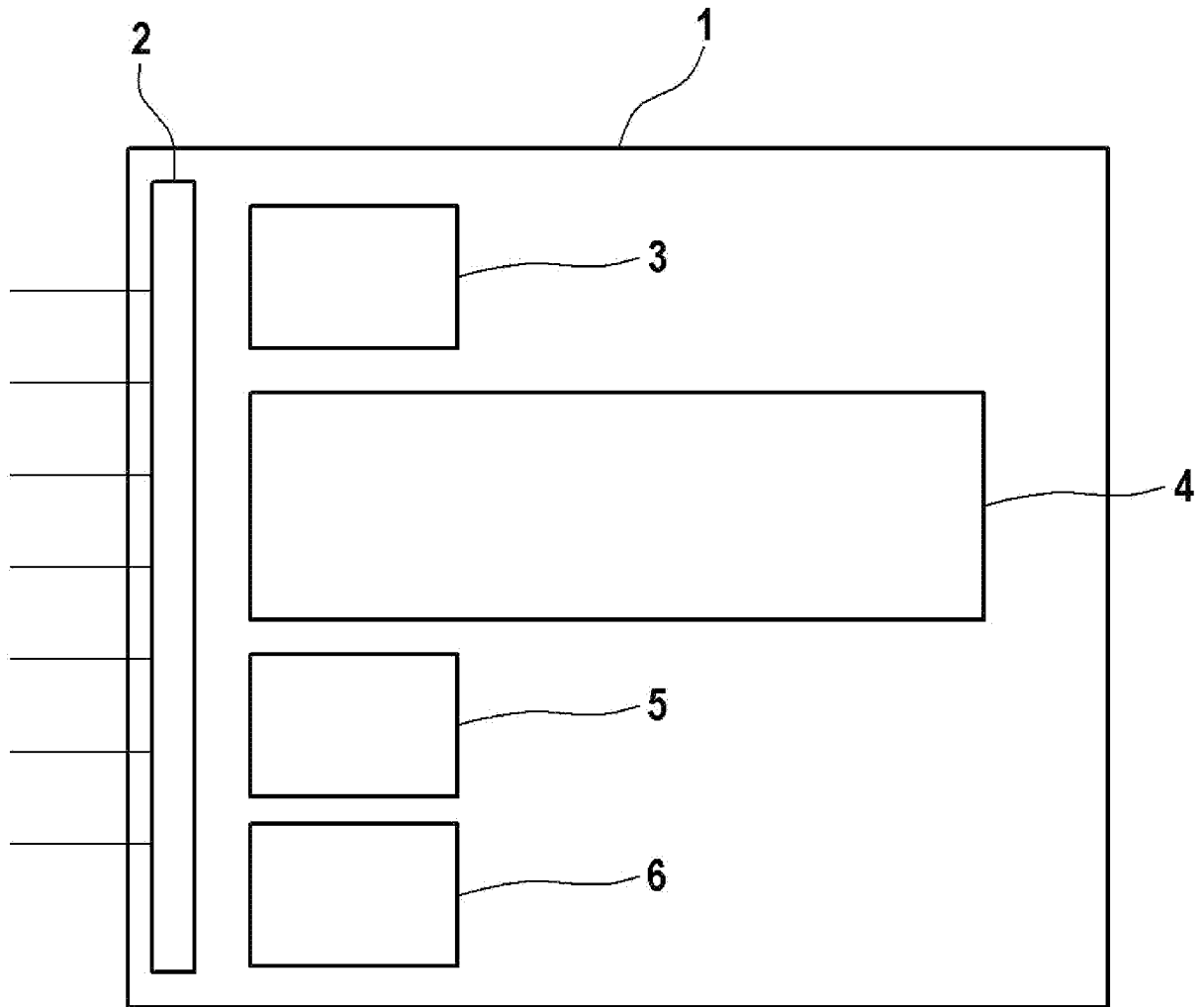
[Fig. 2]



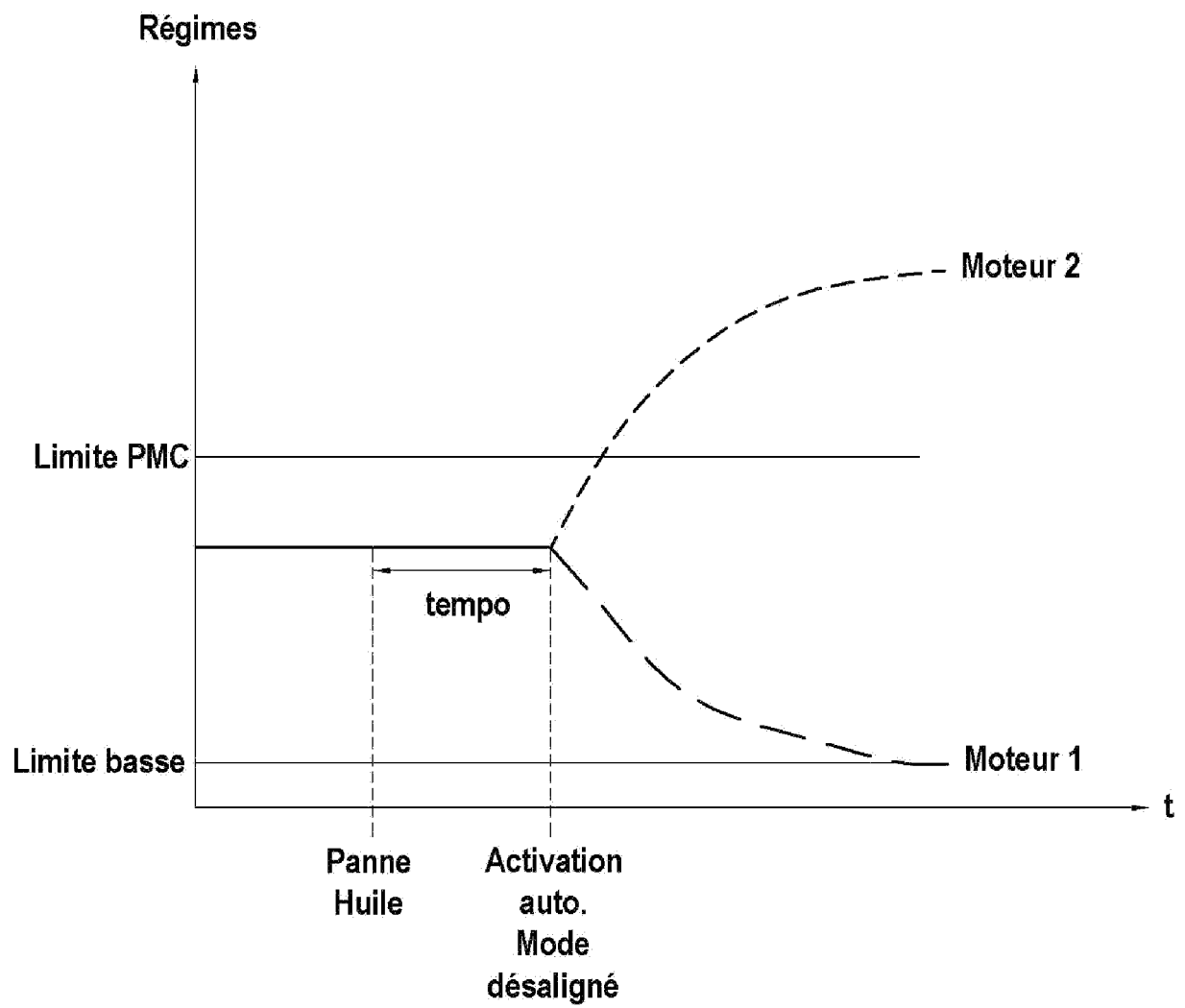
[Fig. 3]



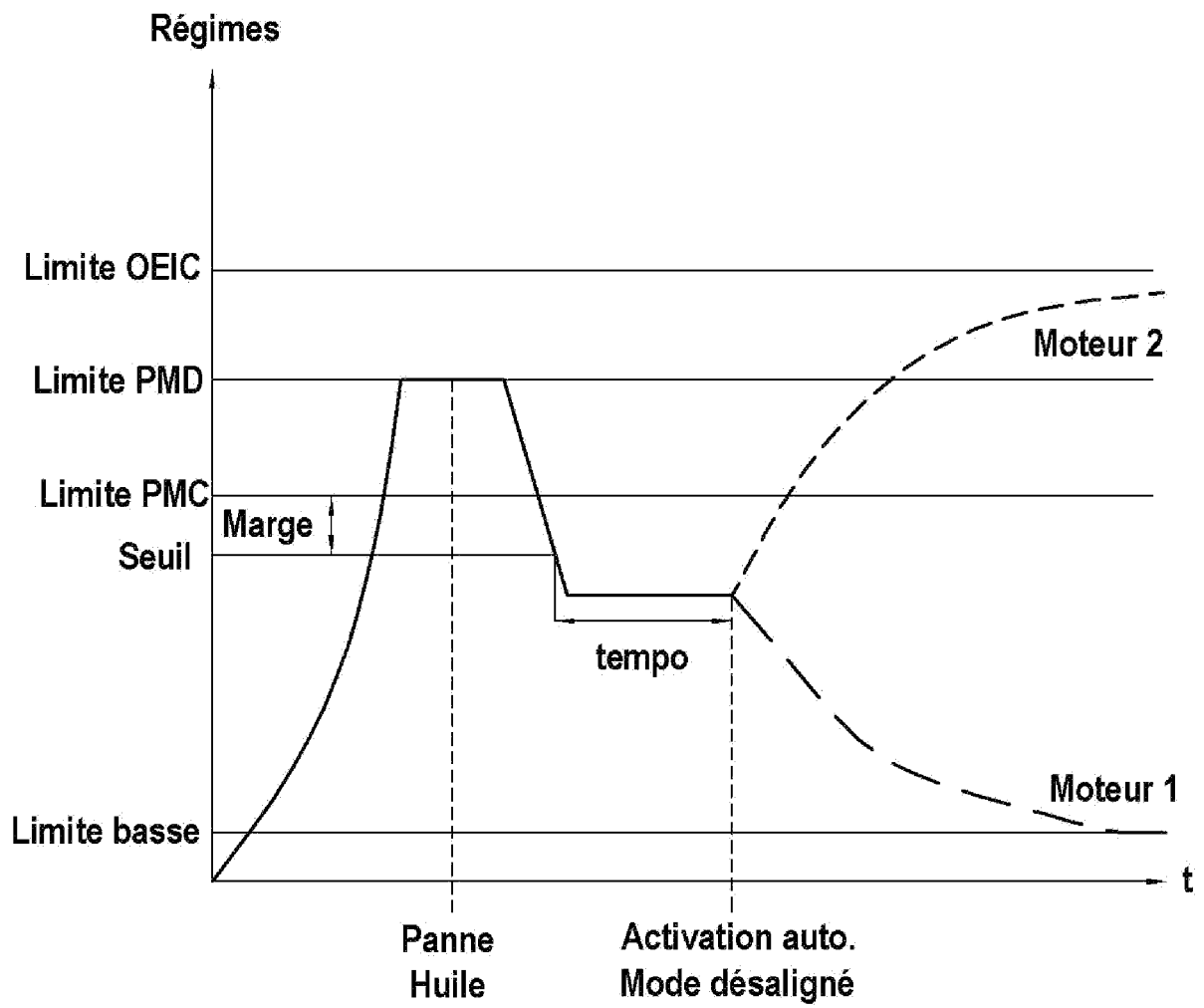
[Fig. 4]



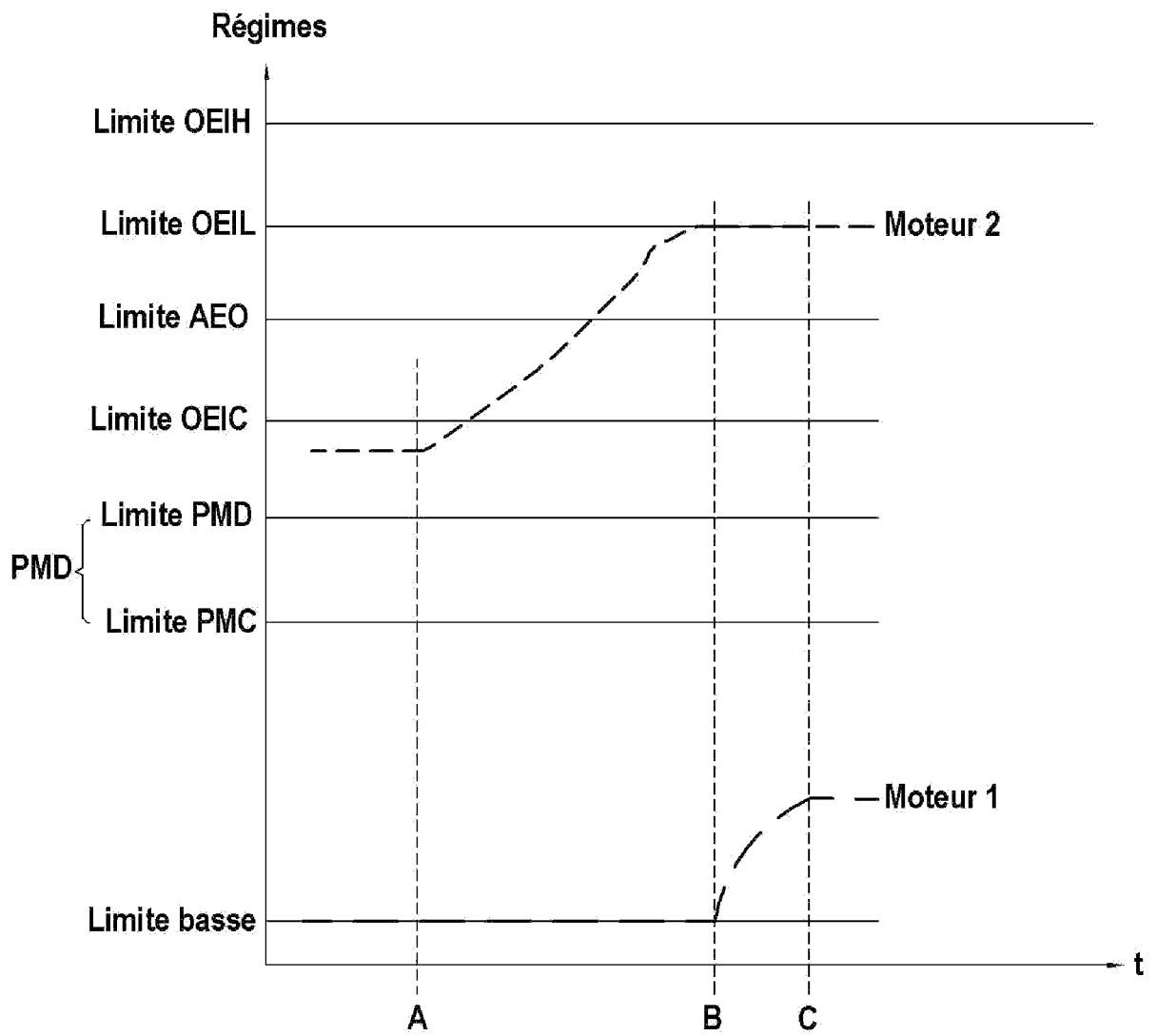
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN  
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN  
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 3 963 372 A (MCLAIN RICHARD D ET AL)  
15 juin 1976 (1976-06-15)

EP 3 627 271 A1 (BELL TEXTRON INC [US])  
25 mars 2020 (2020-03-25)

US 2020/361620 A1 (BEAUCHESNE-MARTEL  
PHILIPPE [CA] ET AL)  
19 novembre 2020 (2020-11-19)

EP 3 951 150 A1 (LEONARDO SPA [IT])  
9 février 2022 (2022-02-09)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND  
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT